

剂量率参考控制水平对加速器屏蔽设计的影响

郑亚琴 康亚军 褚薛刚 郭芳

【摘要】 目的 探讨剂量率参考控制水平对加速器屏蔽设计的影响。方法 根据 GBZ 126-2011、GBZ/T 201.1-2007、GBZ/T 201.2-2011 中关于加速器机房辐射屏蔽的要求,分别采用剂量率参考控制水平计算方法和周剂量控制水平计算方法对加速器机房的主屏蔽进行计算,并对计算的屏蔽厚度进行比较。结果 在周最大工作负荷相同的情况下,当计算的剂量率参考控制值大于剂量率参考控制水平 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 时,计算结果会出现差异,屏蔽厚度差值最大达 64 cm。15 MV 能量的屏蔽厚度差值大于 6 MV。同时,考虑了剂量率参考控制水平的情况下,加速器剂量率不同,所计算的机房的屏蔽厚度也不同。结论 在屏蔽计算时,首先要估算参考点的剂量率,满足剂量率参考控制水平的条件下再进行计算。

【关键词】 加速器; 屏蔽; 剂量率参考控制水平

Influence of dose rate reference control level on the design of accelerator shielding Zheng Yaqin, Kang Yajun, Chu Xuegang, Guo Fang. Center of Radiation Oncology, Shanxi Cancer Hospital, Taiyuan 030013, China

【Abstract】 Objective To explore the influence of dose rate reference control level on the design of accelerator shielding. **Methods** According to the standards of GBZ 126-2011, GBZ/T 201.1-2007 and GBZ/T 201.2-2011, two different shielding calculation methods, based on the dose rate reference control level and week dose control level, were used to calculate and compare the thickness of accelerator room shielding. **Results** Under the same condition of maximum weekly workload, the obtained results were different when the calculated dose rate reference control value was larger than dose rate reference control level ($2.5 \mu\text{Sv/h}$). The maximum difference of shielding thickness reached 64 cm. Meanwhile, considering dose rate reference control level, the different accelerator rates could lead to different radiation shielding thickness. **Conclusions** The dose rate at reference point must be first calculated before calculating shielding thickness. The calculation should be made on the premise that dose rate reference control level is met.

【Key words】 Accelerator; Shielding; Dose rate reference control level

随着放射治疗技术的发展,医用电子直线加速器在肿瘤放射治疗中得到广泛应用。由于 X 射线能量高,其屏蔽防护的要求也高。本研究中根据 GBZ 126-2011《电子加速器放射治疗放射防护要求》、GBZ/T 201.1-2007《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 1 部分:一般原则》与 GBZ/T 201.2-2011《放射治疗机房的辐射屏蔽规范 第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房》的要求,分别采用剂量率参考控制水平计算方法和周剂量控制水平计算方法对加速器机房的主屏蔽墙厚度计算,提出在机房屏蔽设计中应该注意的问题。

材料与方法

1. 屏蔽设计参数

计算项目:主屏蔽墙厚度;射线能量:6 和 15 MV;关注人员:工作人员,公众;使用因子:均为 $1/4$;居留因子: $1, 1/4$;关注点距靶的距离:6 m;加速器的周最大工作负荷 $1\ 500 \text{ Gy/周}$,剂量率以 300、400、600 $\text{cGy}\cdot\text{m}^2/\text{min}$ 分别计算。

2. 屏蔽计算方法:分别采用两种方法进行计算,方法一是将瞬时剂量率作为控制水平,方法二是将周剂量率作为控制水平。在方法一中根据 GBZ/T 201.2-2011 中的要求,对剂量率参考控制水平的值进行计算,选取最终设计时的取值。方法二中根据年剂量控制目标推算出周剂量控制目标,以

此目标来进行计算。

(1) 计算方法一: 采用剂量率参考控制水平计算。根据 GBZ/T 201. 2-2011, 有用线束和泄露辐射的屏蔽透射因子 B 估算^[1]。

$$B = H_c \cdot R^2 / (H_0 \cdot f) \quad (1)$$

式中, B 为屏蔽透射因子; H_c 为关注点的剂量率参考控制水平, $\mu\text{Sv/h}$; H_0 为常用最高剂量率, $\text{Sv} \cdot \text{m}^2/\text{h}$; f 对有用线束为 1, 对泄露辐射为泄露辐射比率; R 为靶至关注点的位置, m。

根据式(1)计算的屏蔽因子 B, 代入 GBZ/T 201. 2-2011 中的屏蔽计算公式, 估算有效屏蔽厚度。在该方法中首先利用式(2)导出关注点的剂量率参考控制水平。

$$H_c = H_0 / (t \cdot U \cdot T) \quad (2)$$

式中, H_c 为周剂量控制水平; t 为该装置周最大累积照射时间, $t = W/H_0$; U 为照射方式的使用因子; T 为居留因子。

根据 GBZ/T 201. 1-2007 对于“治疗机房墙和入口门外关注点的剂量率参考控制水平 (H_c , $\mu\text{Sv/h}$)”的要求^[2], 将 H_c 较小者作为辐射剂量参考控制水平, 将确定的 H_c 代入公式(1)进行计算。

(2) 计算方法二: 采用周剂量控制水平计算。这种方法是长期以来沿用的由周工作负荷和周剂

量管理控制来计算主屏蔽的方法^[3], 目前很多评价单位都采用该方法进行屏蔽设计。屏蔽因子的计算见公式(3)。

$$B = H_c \cdot R^2 / (W \cdot U \cdot T \cdot f) \quad (3)$$

在土建设计中遵循 ALARA 原则, 为尽可能提高防护效能加入 2~5 倍的安全系数 $n(n=2)$, 即公式(4)。

$$B = H_c \cdot R^2 / (W \cdot U \cdot T \cdot f \cdot n) \quad (4)$$

为便于比较, 本研究中采用公式(3)来进行计算。

结 果

在本文的屏蔽设计条件下, 利用公式(2)剂量率参考控制水平均 $> 2.5 \mu\text{Sv/h}$, 根据取最小值的要求, 方法一中的剂量率参考控制水平均取 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 。在相同周最大工作负荷, 针对有用线束, 使用因子均为 1/4, 6 MV 能量加速器不同剂量率, 采用以上两种方法进行主屏蔽计算, 结果见表 1。15 MV 能量加速器不同剂量率采用以上两种方法进行主屏蔽计算, 结果见表 2。

从表 1, 2 中可以看出, 采用两种计算方法计算的主屏蔽厚度结果差异较大。在相同的屏蔽计算条件下, 15 MV 能量加速器的主屏蔽厚度的差值 $> 6 \text{ MV}$ 能量加速器的主屏蔽厚度的差值。15 MV 能

表 1 6 MV 能量加速器不同剂量率在采用两种方法计算的主屏蔽厚度结果

机器剂量率 ($\text{cGy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$)	关注人员	居留 因子	关注点到 靶的距离 (m)	计算方法一		计算方法二		两种方法计算 结果差值(cm)
				剂量率参考控制 水平($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	估算的主 屏蔽厚度 (cm)	周剂量控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	估算的主 屏蔽厚度 (cm)	
300	工作人员	1	6	2.5	212	100	170	42
	公众	1/4	6	2.5	212	5	193	19
400	工作人员	1	6	2.5	216	100	170	46
	公众	1/4	6	2.5	216	5	193	23
600	工作人员	1	6	2.5	222	100	170	52
	公众	1/4	6	2.5	222	5	193	29

表 2 15 MV 能量加速器不同剂量率在采用两种方法计算的主屏蔽厚度结果

机器剂量率 ($\text{cGy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$)	关注 人员	居留 因子	关注点到 靶的距离 (m)	计算方法一		计算方法二		两种方法计算 结果差值 (cm)
				剂量率参考 控制水平 ($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	估算的主 屏蔽厚度 (cm)	周剂量控制 水平($\mu\text{Sv}/\text{周}$)	估算的主屏蔽 厚度(cm)	
300	工作人员	1	6	2.5	261	100	209	52
	公众	1/4	6	2.5	261	5	237	24
400	工作人员	1	6	2.5	266	100	209	57
	公众	1/4	6	2.5	266	5	237	29
600	工作人员	1	6	2.5	273	100	209	64
	公众	1/4	6	2.5	273	5	237	36

量加速器在剂量率为 $600 \text{ cGy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 时,两种方法计算的主屏蔽厚度差值最大,达到 64 cm 。

在加速器周最大工作负荷一定情况下,利用方法一计算的主屏蔽厚度跟加速器的剂量率有关系,加速器剂量率越大,机房的主屏蔽厚度也越厚,在本研究的计算结果中,对 15 MV 能量的加速器 $300 \text{ cGy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 机器剂量率与 $600 \text{ cGy} \cdot \text{m}^2/\text{min}$ 机器剂量率两种情况,屏蔽厚度最大相差达 12 cm ;而利用方法二计算的主屏蔽厚度不随加速器的剂量率的变化而变化。

讨 论

本研究所采用的国标 GBZ 126-2011、GBZ/T 201.1-2007 与 GBZ/T 201.2-2011 是我国目前加速器防护评价方面最新的标准,GBZ 126-2011 主要规定了加速器临床治疗时的放射防护要求,其中加速器的放射防护性能部分为强制性标准;GBZ/T 201.1-2007 标准适用于外照射源治疗装置的机房,主要针对机房辐射屏蔽的剂量参考控制水平、一般屏蔽要求和辐射屏蔽评价要求;GBZ/T 201.2-2011 给出了加速器治疗机房的剂量控制要求,辐射屏蔽的剂量估算与检测评价方法。根据这些标准中的要求,本研究采用两种方法计算主屏蔽厚度,并对其结果进行比较。

在没有剂量率参考控制水平 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 限制的情况下,公式(1)和公式(3)之间可以互相推导,计算结果也相同;但是方法一在确定关注点剂量率参考控制水平时,采用公式(2)的计算值和剂量率参考控制水平 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ 进行比较,并取其最小值,而在方法二中,直接采用周剂量控制水平计算,导致机房的设计厚度低于方法一的计算厚度。

在实际评价中,很多是采用公式(4)(也就是本文中的计算方法二的基础上考虑 2 倍的安全因子)来进行计算。还有的计算方法是采用公式(3),但是在机房的屏蔽计算中,取目标值的一个分数,如 $1/2$ 作为剂量设计值。这样对职业照射为 2.5 mSv/年 ,即 $50 \mu\text{Sv/周}$;相应的公众为 0.125 mSv/年 ,即 $2.5 \mu\text{Sv/周}$ 。该方法中不再考虑 2 倍的安全因子,但是却将周剂量控制值降为原来的 $1/2$,其计算结果无实质性变化。与本研究根据公式(3)的计算结果相比,这些方法对 6 和 15 MV

能量加速器主屏蔽厚度计算结果分别增加了 10 和 12 cm ,但是仍然不能达到以剂量率控制水平计算的屏蔽厚度。

近年来,考虑到一些专项标准中对控制值的规定,以及人员对辐射影响的心理承受能力,IAEA 主张剂量率目标控制值最好为 $2.5 \mu\text{Sv/h}$,最大不超过 $7.5 \mu\text{Sv/h}$ ^[4]。我国 GBZ/T 201.1-2007 标准满足年剂量限值的条件下又引入了剂量率参考控制水平,在居留因子 $\geq 1/2$ 的情况下,关注点的剂量率 $\leq 2.5 \mu\text{Sv/h}$;在居留因子 $< 1/2$ 的情况下,关注点的剂量率 $\leq 10 \mu\text{Sv/h}$ ^[2]。在 GBZ 126-2011 中,规定在加速器迷宫门外、控制室和加速器机房墙外 30 cm 处的周围剂量当量率不大于 $2.5 \mu\text{Sv/h}$ ^[5]。这些新的标准要求在设计中应重点考虑关注点的剂量率参考控制水平。

在考虑了剂量率参考控制水平的情况下进行屏蔽厚度计算,加速器剂量率的大小也会对屏蔽厚度产生影响。这也提示在实际的放射治疗工作中,更换机器的剂量率时,要考虑机房的防护设计在同等工作量的情况下,是否满足剂量率参考控制水平的要求,这关系到每一个工作人员的健康。

总之,机房的防护设计是一项严谨而重要的工作,在进行屏蔽计算时,应根据实际工作情况,尽可能的考虑到各种影响因素,这样才能更好的满足放射工作人员职业照射水平和周围环境辐射水平最新标准要求,体现以保障工作人员和公众健康为前提的设计理念。

参 考 文 献

- [1] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 201.2-2011 放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 2 部分:电子直线加速器放射治疗机房[S]. 北京:中国标准出版社,2011.
- [2] 中华人民共和国卫生部. GBZ/T 201.1-2007 放射治疗机房的辐射屏蔽规范第 1 部分:一般原则[S]. 北京:中国标准出版社,2007.
- [3] 胡逸民. 肿瘤放射物理学[M]. 北京:原子能出版社,1999: 651-653.
- [4] 朱建国,卢峰,邓大平,等. 加速器治疗室外辐射剂量理论计算值与实际测量结果的比较与探讨[J]. 中国辐射卫生, 2006,15(2):192-193.
- [5] 中华人民共和国卫生部. GBZ 126-2011 电子加速器放射治疗放射防护要求[S]. 北京:中国标准出版社,2011.

(收稿日期:2014-05-12)